

KAJIAN TERHADAP KESAN PERCAMPURAN KELIKIR DENGAN PASIR FORMASI KE ATAS PRODUKTIVITI TELAGA

Ariff Othman
Khairuddin Abd. Karim
Jabatan Kejuruteraan Petroleum

ABSTRAK

Satu kajian secara ujikaji telah dilakukan untuk menyiasat kesan percampuran kelikir dengan pasir formasi ke atas produktiviti telaga yang berpadatan kelikir. Kajian ini melibatkan penggunaan (a) satu kotak ringkas untuk mengukur kebolehtelapan kelikir yang berlainan saiz dan mutu yang dicampurkan dengan pelbagai peratus kandungan pasir formasi, dan (b) satu selinder pengukur untuk menentukan secara kualitatif keliangan padatan kelikir.

Faktor-faktor yang dipertimbangkan termasuklah (a) kesan percampuran kelikir dengan pasir formasi, (b) kesan pelbagai mutu kelikir, (c) kesan kadar alir, dan (d) kesan antara muka kelikir/pasir formasi.

Keputusan ujikaji menunjukkan percampuran kelikir dengan pasir formasi mempunyai kesan yang bermakna terhadap produktiviti telaga. Faktor-faktor fizikal yang didapati mempengaruhi kesan percampuran ini terhadap produktiviti telaga adalah (a) taburan saiz partikel campuran, (b) mutu kelikir, (c) taburan saiz pasir formasi, (d) kestabilan padatan, dan (e) halaju aliran bendalir yang melalui padatan.

PENGENALAN

Semasa operasi padatan kelikir, terutamanya ketika kelikir disuntik pada arah yang bertentangan dengan permukaan pasir pada halaju yang tinggi, kesan lelasan boleh terhasil dan seterusnya mengakibatkan percampuran berlebihan kelikir dengan pasir formasi. Keadaan ini akan menjadi bertambah buruk di dalam kerja penebukan yang mempunyai selang pelengkapan yang pendek.

Semasa operasi pengeluaran, percampuran kelikir dengan pasir formasi boleh berlaku jika pasir formasi boleh masuk ke dalam padatan kelikir. Kelikir yang terpadat dengan sempurna boleh menghalang perkara ini daripada berlaku, dan kebolehtelapan padatan kelikir yang tinggi dapat dikekalkan. Partikel cukup halus dalam formasi yang dapat melalui pasir formasi, dengan mudah juga akan dapat mengalir menerusi padatan kelikir, kerana rongga liang padatan kelikir adalah lebih besar dari rongga liang pasir formasi. Walaubagaimanapun, jika pasir formasi dan kelikir telah tercampur, keliangan gabungan kedua-duanya adalah jauh lebih kecil daripada keliangan pasir formasi, dan pertikel halus tersebut akan menurunkan kebolehtelapan padatan jika terperangkap di dalam zon percampuran kelikir/pasir formasi. Fenomena ini akan mengurangkan prestasi telaga.

Pada dasarnya, pemilihan saiz kelikir yang hendak digunakan untuk padatan bergantung kepada taburan saiz partikel pasir formasi. Taburan saiz ini boleh diperolehi daripada lengkung analisis ayakan bertokok. Bagi pemilihan saiz kelikir untuk mengawal secara

berkesan pengeluaran pasir formasi, pelbagai teknik telah dicadangkan. Beberapa rekabentuk menggunakan teknik titian partikel. Teknik ini didapati tidak stabil di bawah keadaan aliran terganggu yang berlaku di dalam telaga pengeluaran. Teknik-teknik yang lain direkabentuk untuk menghalang secara mutlak serbuan pasir formasi dengan menggunakan saiz kelikir yang lebih kecil daripada yang terdapat dalam teknik titian partikel. Jadual 1 meringkaskan rumus-rumus saiz kelikir yang ada sekarang⁽¹⁻⁹⁾.

Jadual 1 : Rumus saiz kelikir

Nama	Rumus Saiz Kelikir (D_g)
Coberley/Wagner ⁽¹⁾	6 X d_{10} (pasir seragam) 4 X d_{10} (keadaan stabil) 6 X d_{40} (pasir tak seragam)
Hill ⁽²⁾	Sama seperti di atas
Gumpertz ⁽³⁾	11 X d_{10}
Maly/Krueger ⁽⁴⁾	6 X d_{10}
Williams dan rakan-rakan ⁽⁵⁾	5 - 6 X $d_{10} - d_{70}$
Schwartz ⁽⁶⁾	6 X d_{10} (pasir seragam) 6 X d_{40} (pasir tak seragam)
Saucier ⁽⁷⁾	5 - 6 X d_{50} (semua jenis pasir)
Gurley dan rakan-rakan ⁽⁸⁾	5 - 6 X d_{50} (pasir seragam)
Leone dan rakan-rakan ⁽⁹⁾	16 X d_{50} (semua jenis pasir)

Rumus saiz kelikir yang paling popular digunakan sekarang, untuk memilih saiz kelikir yang sesuai untuk padatan kelikir bagi reserbor batu pasir adalah rumus Saucier. Walaubagaimanapun, bukti-bukti di lapangan menunjukkan kerosakan kebolehtelapan masih lagi berlaku. Perkara ini adalah disebabkan oleh serbuan pasir formasi dan partikel halus yang lain ke dalam padatan.

Percampuran di antara kelikir dengan pasir formasi ini adalah merupakan salah satu faktor utama yang boleh mengurangkan kebolehtelapan berkesan padatan kelikir. Sparlin⁽¹⁰⁾ telah menunjukkan yang percampuran sejumlah kecil kandungan pasir formasi (kira-kira 10 - 25%) dengan kelikir, boleh merendahkan kebolehtelapan hampir sama dengan kebolehtelapan pasir formasi. Dalam sesetengah kes, kebolehtelapan ini adalah lebih rendah daripada kebolehtelapan pasir formasi.

Saucier⁽⁷⁾ dan Sparlin⁽¹⁰⁾ telah membincangkan kesan kesegian, kesferaan dan taburan saiz kelikir terhadap kebolehtelapan dan kestabilan padatan kelikir. Daripada kajian tersebut, mereka telah merumuskan yang kebolehtelapan padatan kelikir yang tinggi dan kestabilan padatan yang baik akan dicapai dengan menggunakan bentuk kelikir yang lebih bundar dan sfera, dan taburan saiz partikel yang lebih seragam. Walaubagaimanapun, keadaan ini masih belum lagi menjamin halangan yang berkesan terhadap serbuan partikel formasi yang halus ke dalam padatan.

Oyeneyin dan Peden⁽¹¹⁾ berpendapat yang cadangan Saucier tidak dapat menyediakan keupayaan yang cukup untuk menghalang pergerakan partikel halus pasir formasi ke dalam padatan kelikir, terutamanya apabila mempertimbangkan padatan butiran-butiran

tak terkukuh. Mereka juga berpendapat rumus Saucier terlalu umum kerana tidak mengambilkira (a) persekitaran pengendapan reserbor tertentu, (b) jenis bendalir reserbor, (c) kadar pengeluaran, (d) sifat-sifat bendalir, dan (e) mod penyempelan.

PERTIMBANGAN SECARA TEORI

Semasa bendalir mengalir melalui pasir formasi tak terkukuh, pergerakan pasir formasi akan mengakibatkan perubahan dalam kejatuhan tekanan keseluruhan. Perubahan kejatuhan tekanan ini berlaku adalah disebabkan oleh percampuran di antara kelikir dengan pasir formasi, sama ada ketika sedang melakukan operasi padatan atau melakukan pengeluaran menerusi liang penebukan berpadatan kelikir. Persamaan Darcy untuk aliran lurus bendalir tak boleh mampat boleh digunakan^(12,14) untuk meramalkan kejatuhan tekanan di dalam liang penebukan berpadatan kelikir. Persamaan tersebut adalah seperti berikut.

$$\Delta P = \frac{Q \mu L}{A k} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Berg⁽¹⁵⁾ telah mengaitkan sifat-sifat batuan yang utama, iaitu kerencaman, tekstur dan kestabilan padatan terhadap aliran bendalir. Beliau telah merumus satu persamaan untuk menganggarkan kebolehtelapan padatan pasir tak terkukuh di bawah keadaan dasar lubang. Beliau juga telah mengaitkan taburan saiz butiran pasir dan keliangan padatan terhadap kebolehtelapan. Persamaan yang diterbitkan oleh beliau adalah seperti berikut.

$$k = 5.1 \times 10^{-6} \phi^{5.1} \bar{D}^2 e^{-1.385 PD} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Kozeny dan Carman⁽¹⁵⁾ telah menerbitkan satu persamaan untuk menentukan susunan geometri butiran kelikir. Persamaan ini boleh digunakan untuk menentukan saiz dan taburan liang, dan kebolehtelapan padatan. Struktur padatan dikira dalam sebutan pekali padatan B. Persamaan tersebut adalah seperti berikut.

$$B = \frac{10^6}{k S^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

di mana S adalah keluasan permukaan tentu. Untuk partikel ekaserakan, S diberikan oleh

$$S = \frac{6 \psi (1 - \phi)}{D} \quad \dots\dots\dots (4)$$

dan untuk partikel poliserakan pula, S diberikan oleh

$$S = \frac{6 \psi (1 - \phi)}{100} \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{F(i)}{D(i)} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

di mana F(i) adalah peratus berat kelikir/pasir i, dan D(i) adalah garispusat kelikir/pasir i.

PERALATAN UJIKAJI

Peralatan yang digunakan untuk menjalan ujikaji ini boleh dibahagikan kepada dua bahagian utama, iaitu

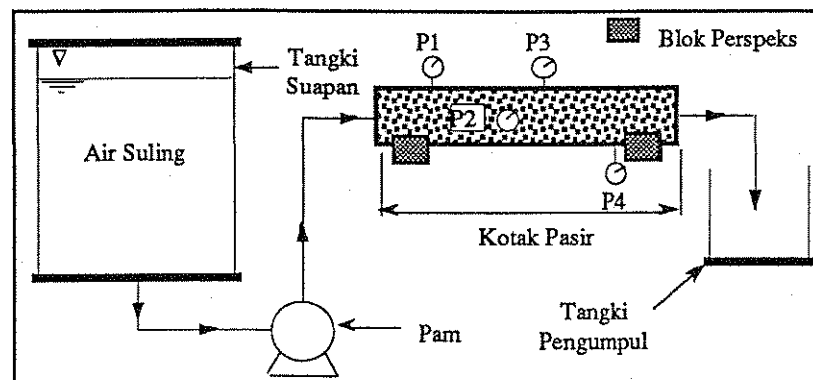
- (a) selinder pengukur, dan
- (b) sistem ujikaji kotak pasir (peralatan ujikaji utama).

Selinder Pengukur

Selinder pengukur adalah sebuah bikar kaca bersengkat, 350 mm panjang, 40 mm garipusat dalam, dan 500 cc muatan maksimum. Alat ini digunakan untuk mengukur keliatan padatan kelikir secara kualitatif.

Sistem Ujikaji Kotak Pasir

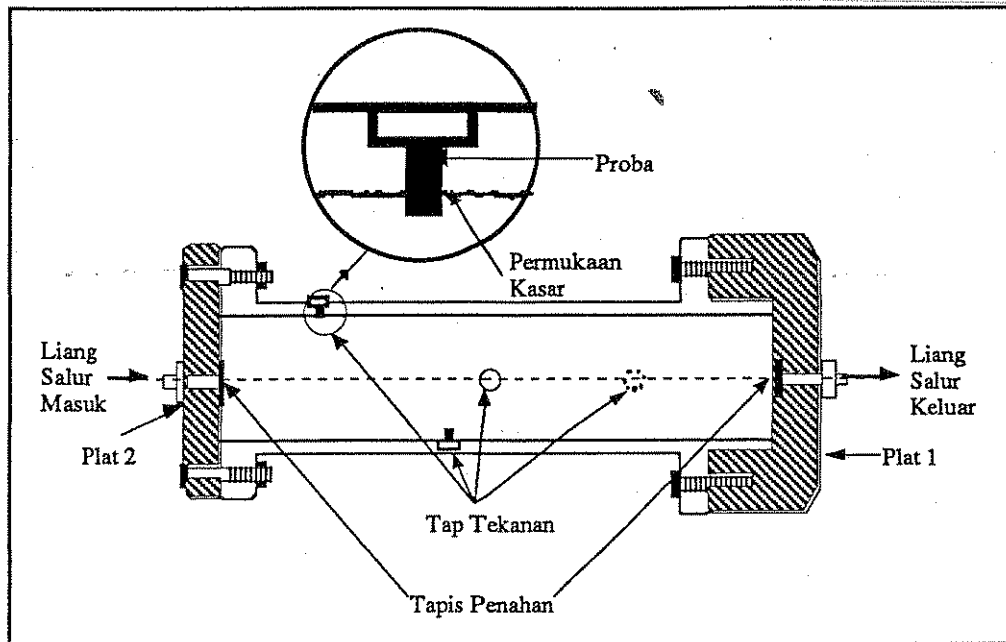
Gambarajah skema sistem ujikaji kotak pasir yang digunakan di dalam kajian ini, ditunjukkan di dalam Gambarajah 1. Pada dasarnya, sistem ini terdiri daripada empat komponen utama, iaitu kotak pasir, pam, tangki suapan dan peranti tekanan. Kotak pasir adalah satu tiub selinder perspeks lutsinar berongga, 290 mm panjang, dan 60 mm garispusat dalaman yang dipasang dengan plat pada kedua-dua hujungnya (lihat Gambarajah 2). Kedua-dua hujung plat mempunyai liang bertapis 12.5 mm bagi memudahkan aliran bendalir pada bahagian salur masuk dan salur keluar, tetapi dalam masa yang sama dapat menahan aliran partikel pasir dari keluar daripada kotak pasir. Empat peranti tekanan dipasang di sepanjang kotak pasir, yang masing-masing berjarak 70 mm, 25 mm dan 70 mm, bagi mengukur kejatuhan tekanan di dalam kotak pasir.



Gambarajah 1 : Gambarajah skema sistem aliran kotak pasir.

PENYEDIAAN BAHAN

Pasir hasil buangan daripada sebuah kuari di Scotland, yang bersaiz purata 100 μm (140 US mesh) telah digunakan untuk menyelaku pasir formasi. Saiz purata pasir ini dapat mewakili ciri-ciri pasir formasi daripada reserbor batu pasir tak terkukuh. Analisis ayakan dilakukan untuk menentukan taburan saiz dan keseragaman pasir formasi ini.



Gambarajah 2 : Gambarajah skema kotak pasir.

Empat saiz dan mutu kelikir yang berlainan telah digunakan, iaitu 12/20 US mesh dan 20/40 US mesh kelikir komersial (pasir silika Brandy), dan 10/20 US mesh dan 20/40 US mesh kelikir bukan komersial (pasir pantai). Analisis bayangan juga telah dilakukan untuk menentukan mutu dan bentuk setiap jenis kelikir. Kelikir-kelikir telah dicampurkan dengan 15%, 35%, 55% dan 85% berat pasir formasi terselaku. Analisis ayakan juga telah dilakukan untuk menentukan taburan saiz kelikir dan taburan saiz campuran.

Air suling digunakan sebagai media aliran menerusi padatan sampel. Seperti mana yang diketahui, air suling adalah bendalir bebas partikel, dengan itu, ini dapat memastikan yang pengurangan kebolehtelapan di dalam padatan sampel semasa ujikaji hanya diakibatkan oleh pergerakan pasir formasi terselaku ke dalam padatan sampel.

TATACARA UJIKAJI

Penentuan Keliangan

Sekuantiti sampel yang diketahui beratnya, dituangkan ke dalam selinder pengukur pada tiga ketinggian yang berbeza, iaitu 8, 14 dan 23 cm. Seterusnya, sekuantiti air suling yang diketahui isipadunya, dituangkan ke dalam selinder. Setelah air suling sempurna menyerap ke dasar selinder, dan sampel berhenti mengenas, lebih air suling di bahagian atas sampel dicatitkan.

Keliangan sampel dikira dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\phi = \frac{V_b - (V_{pw} - V_{ew})}{V_b} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

Data keliangan ini dimasukkan ke dalam Persamaan (2) untuk menentukan kebolehtelapan teori, dan seterusnya dengan menggunakan Persamaan (3), pekali kestabilan padatan boleh ditentukan.

Penentuan Kebolehtelapan

Sejumlah sampel yang diketahui beratnya, diisikan ke dalam kotak pasir. Untuk memastikan keliangan dan kestabilan padatan yang sama dikekalkan, Persamaan (6) disusun semula untuk menentukan kuantiti sampel yang betul diisikan ke dalam kotak pasir. Persamaan berkenaan adalah seperti berikut.

$$M_s = V_b \rho_s \left(1 - \frac{\phi}{100\%} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Teknik padatan basah digunakan untuk memastikan aras sampel di atas hujung kotak pasir adalah sama. Untuk antara muka kelikir/pasir formasi, aras teratas kelikir disetkan pada titik P₂, dan pasir formasi kemudiannya diisikan pada baki isipadu kotak pasir yang tinggal. Plat 2 dipasang dan dikemaskan.

Setelah persiapan akhir untuk kotak pasir disempurnakan, pum vakum digunakan untuk mengosongkan udara daripada sampel dan seterusnya sampel ditepukan dengan air suling.

Langkah seterusnya adalah melibatkan penyambungan talian aliran pada hujung Plat 2 bagi membolehkan penentuan kebolehtelapan.

Pengukuran aliran dilakukan dengan menentukur panjang lejang pum dan masa yang diambil untuk memenuhi sekuantiti isipadu tertentu selinder pengukur sebelum ujikaji utama dilakukan. Penentukuran dilakukan secara berkala untuk memastikan kadar aliran yang betul diperolehi.

Selepas talian aliran telah lengkap disambung, air suling dari tangki suapan dialirkan menerusi padatan sampel. Kadar alir awal dikekalkan malar pada setiap ujikaji. Kejatuhan tekanan di sepanjang kotak pasir dicatatkan. Kebolehtelapan awal padatan sampel ditentukan dengan menggunakan persamaan hukum Darcy.

Selepas 10 minit masa aliran pada kadar alir awal yang sama, dan untuk setiap 10 minit pada kadar alir meningkat, pergerakan pasir formasi ke dalam padatan sampel dikesan dengan mengawasi kejatuhan tekanan di sepanjang kotak pasir. Tatacara yang sama digunakan untuk menentukan kebolehtelapan berkesan.

Selepas mengubah kadar alir dalam tertib meningkat, untuk campuran pasir formasi 15%, 55% dan 85% dengan 20/40 kelikir komersial dan kelikir bukan komersial, aliran diberhentikan buat seketika dan diteruskan semula dengan tertib kadar alir menurun (kadar alir yang sama dengan tertib menaik). Untuk antara muka kelikir/pasir formasi, tatacara yang sama digunakan. Tujuan teknik sedemikian dibuat adalah untuk menyelaku amalan pengeluaran sebenar di dalam telaga berpadatan kelikir ketika pengeluaran diberhentikan untuk tujuan kerja semula. Keadaan ini diselaku untuk menyiasat faktor-faktor berikut.

- (a) pengurangan kebolehtelapan yang disebabkan oleh serbuan partikel pasir formasi ke dalam padatan, dan pada peratus campuran kelikir/pasir formasi berapakah boleh merosakkan padatan kelikir dengan teruk, dan
- (b) sama ada perubahan kadar pengeluaran boleh mempengaruhi kadar serbuan pasir formasi ke dalam padatan.

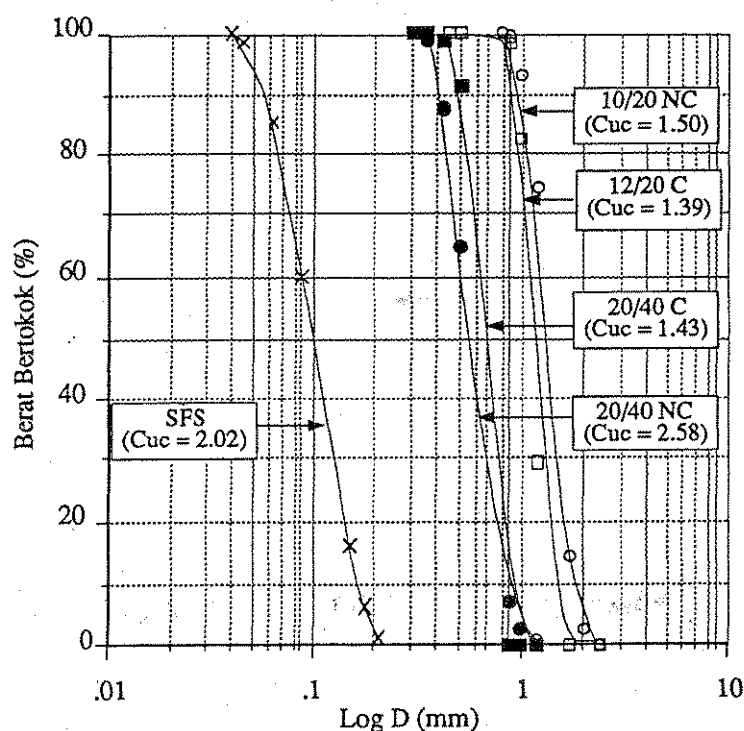
Tatacara yang sama juga digunakan untuk menentukan kebolehtelapan padatan. Nisbah produktiviti (PR) ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$PR = \frac{k'}{k_o} \dots\dots\dots (8)$$

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Ciri-ciri Kelikir dan Pasir Fomasi

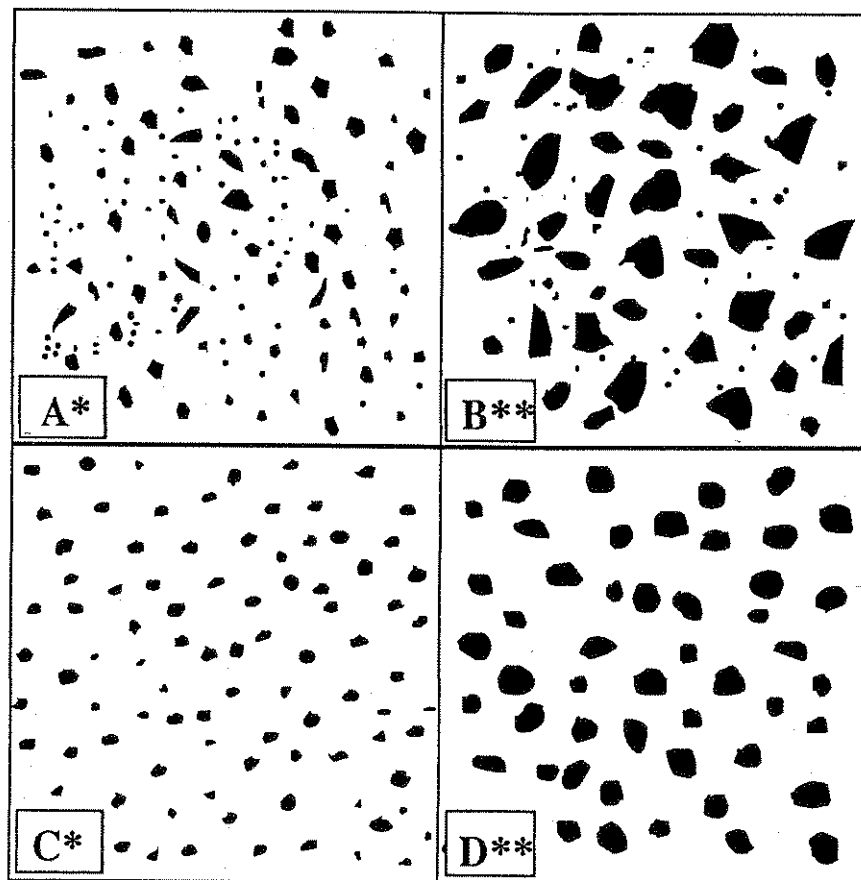
Gambarajah 3 menunjukkan taburan saiz partikel kelikir dan pasir formasi terselaku yang digunakan di dalam ujikaji. Keputusan menunjukkan saiz butiran untuk pasir formasi terselaku yang paling kecil adalah kurang daripada 45 μm (325 US mesh) dan kira-kira 1.87% daripada berat keseluruhan. Kemungkinan partikel pasir ini dapat menyerbu masuk ke dalam padatan kelikir adalah tinggi. Saiz partikel yang kecil ini boleh dengan mudah di bawa oleh aliran bendalir memasuki rongga liang padatan kelikir. Walaubagaimanapun, jika partikel halus pasir formasi dihalang di dalam padatan, campuran kedua-duanya terbentuk.



Gambarajah 3 : Analisis ayakan bertokok untuk kelikir komersial dan kelikir bukan komersial

Gambarajah 3 juga menunjukkan kesemua taburan saiz kelikir mempunyai nisbah keseragaman (C_{uc}) antara 1.39 dan 2.48, sementara taburan saiz pasir formasi terselaku mempunyai $C_{uc} = 2.02$. Ini bahawa menunjukkan taburan saiz partikel adalah seragam

Gambarajah 4 menunjukkan keputusan analisis bayangan untuk setiap saiz dan mutu kelikir. Kelikir-kelikir komersial mempunyai nilai kesferaan dan kebudaran purata yang lebih besar daripada 0.7, yang mematuhi cadangan API⁽¹⁶⁾ untuk mutu kelikir bagi pelengkapan telaga berpadatan. Kelikir-kelikir bukan komersial mempunyai kesferaan dan kebudaran purata yang kurang daripada 0.3, yang tidak mematuhi sama sekali piawaian API⁽¹⁶⁾. Sejumlah besar partikel halus terdapat di dalam kelikir-kelikir bukan komersial, sementara tiada sama sekali di dalam kelikir komersial.

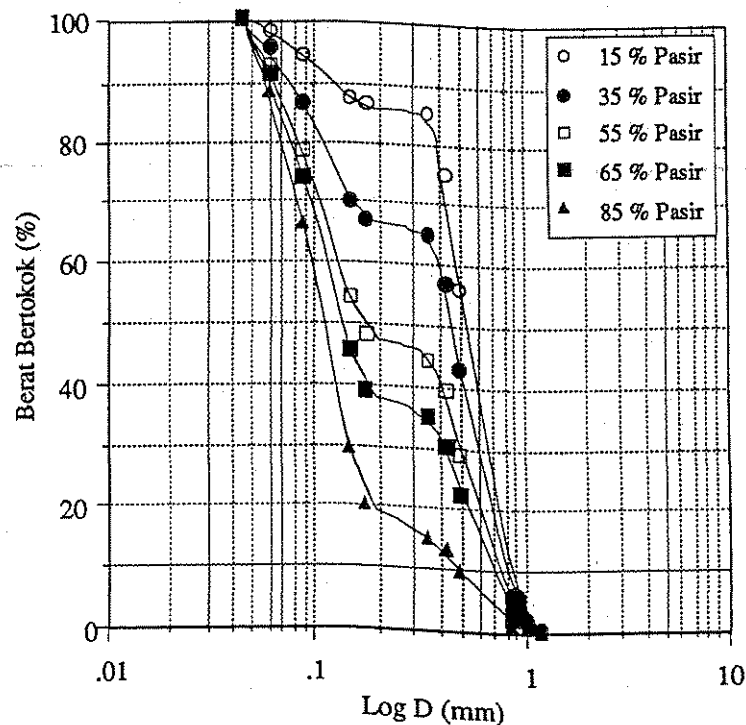


Gambarajah 4 : Analisis bayangan untuk kelikir-kelikir (a) 20/40 NC, (b) 10/20 NC, (c) 20/40 C, and (d) 12/20 C.
(nota : * - pembesaran X 30 ; ** pembesaran X 15)

Kesan Campuran Kelikir Dengan Pasir Formasi Terhadap Taburan Saiz Partikel

Gambarajah 5 menunjukkan keputusan taburan saiz partikel untuk kelikir 20/40 bukan komersial dengan peratus kandungan pasir formasi yang berbeza. Corak yang sama juga ditunjukkan oleh kelikir-kelikir 10/20 bukan komersial, 20/40 komersial dan 12/20 komersial. Apabila peratus kandungan pasir formasi di dalam campuran meningkat, taburan saiz partikel campuran cenderung untuk menyamai corak kelengkungan taburan

saiz partikel pasir formasi. Ramalan yang boleh dibuat daripada analisis ayakan adalah yang ciri-ciri campuran juga cenderung untuk menyamai ciri-ciri pasir formasi.



Gambarajah 5 : Analisis ayakan bertokok untuk campuran kelikir 20/40 NC dengan pelbagai peratusan pasir formasi.

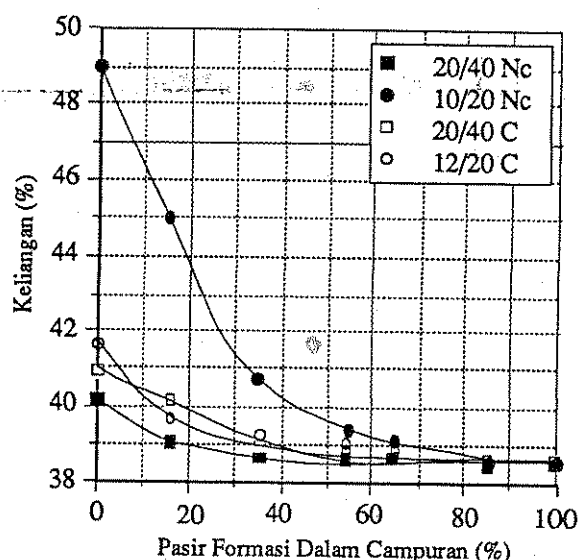
Kesan Campuran Kelikir Dengan Pasir Formasi Terhadap Keliangan

Gambarajah 6 menunjukkan keputusan padatan pada ketinggian 8 cm ke atas keliangan campuran, sementara Gambarajah 7 pula menunjukkan kes khusus untuk kelikir 20/40 komersial pada ketinggian padatan 8, 14 dan 23 cm. Jelas ditunjukkan di sini yang ketinggian padatan yang berbeza juga boleh mengurangkan keliangan. Butiran-butiran pasir formasi yang terbenam di celah-celah butiran-butiran kelikir akibat dari berat beban atas, menyebabkan berkurangnya keliangan. Fenomena ini akan mengubah sifat-sifat campuran, terutamanya keliangan, kerana mereka mengakibatkan saiz liang yang lebih kecil dan rintangan yang lebih besar untuk bendalir mengalir.

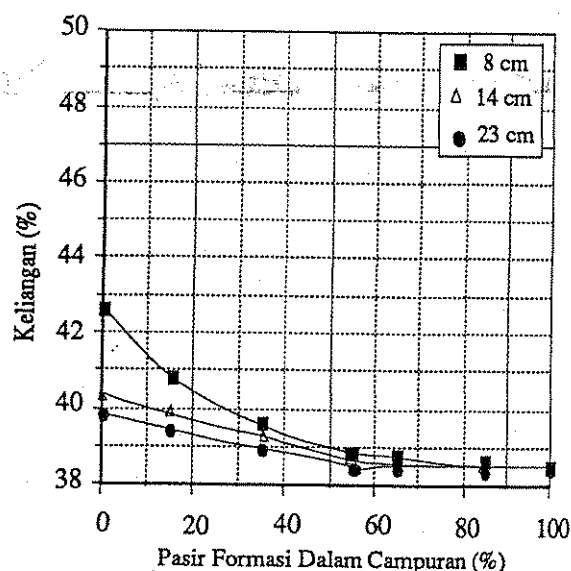
Secara kualitatif, jelas menunjukkan yang pengurangan keliangan lebih teruk berlaku dalam kelikir 10/20 bukan komersial berbanding dengan saiz kelikir yang lain pada sebarang ketinggian padatan. Seperti yang telah dinyatakan, kelikir bukan komersial terutamanya kelikir 10/20 adalah berbentuk bersegi. Ini mengakibatkan struktur padatan yang tak stabil, yang boleh dengan mudah berubah akibat dari berat beban atas.

Kebolehtelapan kiraan padatan yang diterbitkan dari persamaan Berg ada ditunjukkan dalam Gambarajah 8. Gambarajah 9 pula menunjukkan keputusan kebolehtelapan ukuran yang diterbitkan dari ujian aliran. Secara kualitatif, apabila peratus kandungan partikel pasir formasi meningkat, kebolehtelapan menurun, dan dalam sesetengah keadaan, kebolehtelapan adalah lebih rendah daripada kebolehtelapan pasir. Walaupun dengan hanya sejumlah kecil peratus kandungan pasir formasi dalam campuran, kebolehtelapan berkurang dengan begitu mendadak. Pengurangan kebolehtelapan ukuran adalah lebih

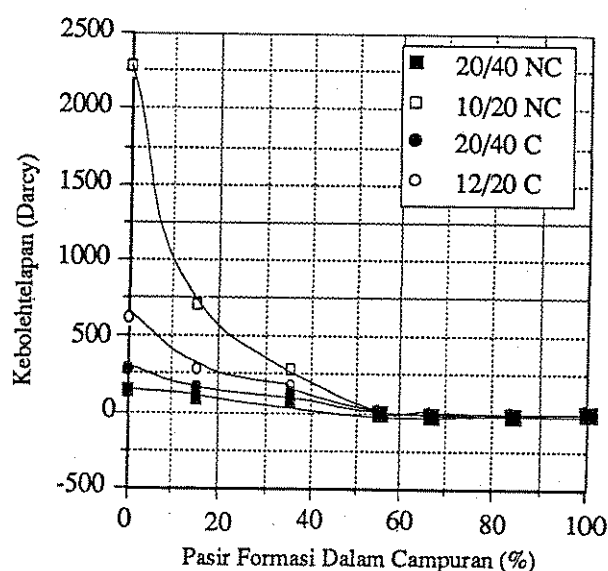
teruk lagi berbanding dengan kebolehtelapan kiraan. Ini jelas menunjukkan yang persamaan Berg hanya dapat memberikan ramalan kebolehtelapan yang baik di bawah keadaan aliran terganggu.



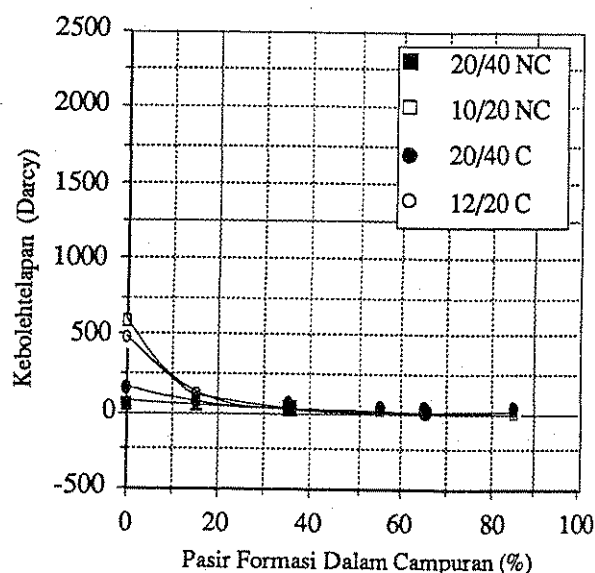
Gambarajah 6 : Perbandingan keliangan untuk campuran kelikir-kelikir komersial dan bukan komersial dengan pasir formasi pada ketinggian padatan 8 cm.



Gambarajah 7 : Keliangan campuran kelikir 20/40 C dan pasir formasi pada ketinggian padatan yang berbeza.



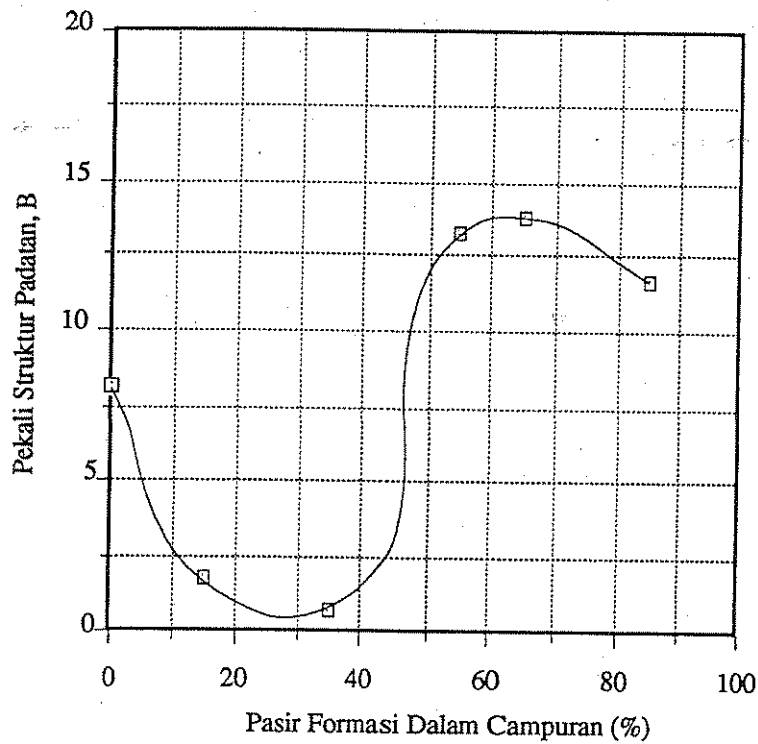
Gambarajah 8 : Kebolehtelapan kiraan (diterbitkan daripada persamaan Berg).



Gambarajah 9 : Kebolehtelapan ukuran (diterbitkan daripada ujian aliran).

Gambarajah 10 menunjukkan kesan peratus kandungan pasir formasi terhadap struktur padatan untuk kelikir 10/20 bukan komersial. Pada 15% - 35% kandungan pasir formasi, pekali padatan B berkurang dengan peningkatan peratus kandungan pasir formasi. Struktur padatan bertambah kukuh kembali apabila peratus kandungan pasir formasi bertambah di dalam campuran, iaitu di antara 35% - 65%, dan mula berkurang semula apabila peratus pasir formasi di dalam campuran meningkat. Ini bermakna pada peratus kandungan pasir

15 % - 35% padatan adalah sangat tidak stabil, manakala pada peratus kandungan pasir yang tinggi, walaupun padatan stabil, ia tidak memberikan sebarang makna kerana kebolehtelapannya yang terlalu rendah.



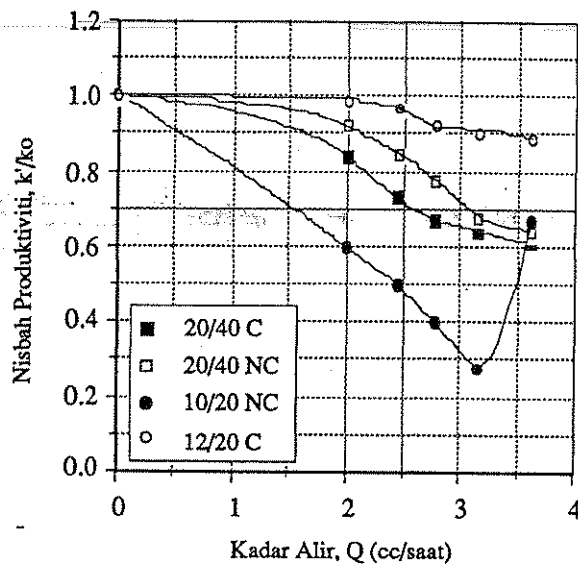
Gambarajah 10 : Pekali struktur padatan melawan peratus kandungan pasir formasi untuk kelikir 10/20 NC.

Kesan Kadar Alir Terhadap Produktiviti

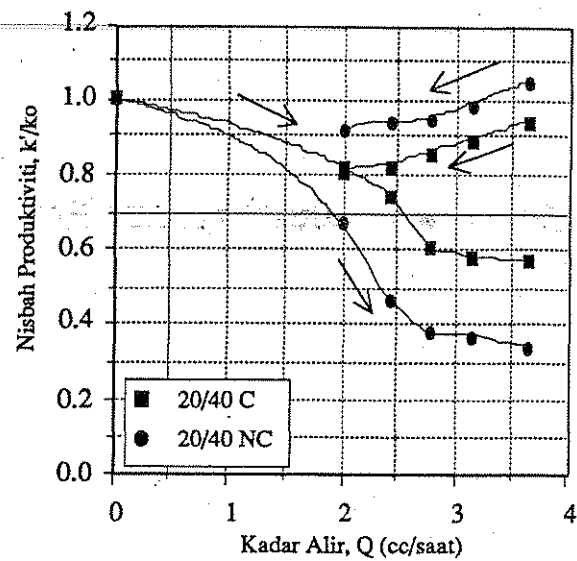
Gambarajah 11 menunjukkan kesan kadar alir terhadap produktiviti pada 55% kandungan pasir formasi. Apabila kadar alir meningkat, PR akan menurun, dan menjadi malar pada satu nilai kadar alir tertentu. Keadaan ini menunjukkan yang kerosakkan kekal telahpun berlaku, yang diakibatkan oleh partikel-partikel pasir formasi yang menyerbu masuk ke dalam padatan telah terperangkap dan seterusnya mengurangkan saiz rongga liang. Pengurangan saiz rongga liang membentuk satu halangan yang besar terhadap aliran.

Corak lengkok pengurangan PR, kelihatan sama untuk semua sampel-sampel yang diuji, kecuali untuk campuran kelikir 10/20 bukan komersial dengan pasir formasi, di mana berlaku pembaikan PR. Pembaikan ini adalah diakibatkan oleh tindakan pembersihan oleh pengeluaran bendalir.

Gambarajah 12 menunjukkan kesan peningkatan dan pengurangan kadar alir pada 15% kandungan pasir formasi untuk kelikir 20/40 bukan komersial dan kelikir 20/40 komersial. Apabila kadar alir meningkat, PR akan menurun. Selepas aliran diberhentikan dan dimulakan semula pada kadar alir yang tinggi, pembaikan terhadap PR berlaku, walaupun produktivitinya masih lagi menurun, kebolehtelapannya lebih tinggi daripada kebolehtelapan dalam kadar alir tertib menurun. Harus diingatkan di sini yang apabila kadar alir dikurangkan ke nilai asal, tiada kerosakkan kekal berlaku. Pembaikan ini tidaklah unik untuk ujikaji ini sahaja, malahan ia juga telah dikenalpasti oleh penyelidik lain⁽¹⁷⁾.



Gambarajah 11 : Kesan kadar alir terhadap produktiviti pada 15% campuran pasir formasi.



Gambarajah 12 : Kesan pengurangan dan peningkatan kadar alir terhadap produktiviti pada kandungan pasir 15%.

Kesan Taburan Saiz Partikel Terhadap Produktiviti

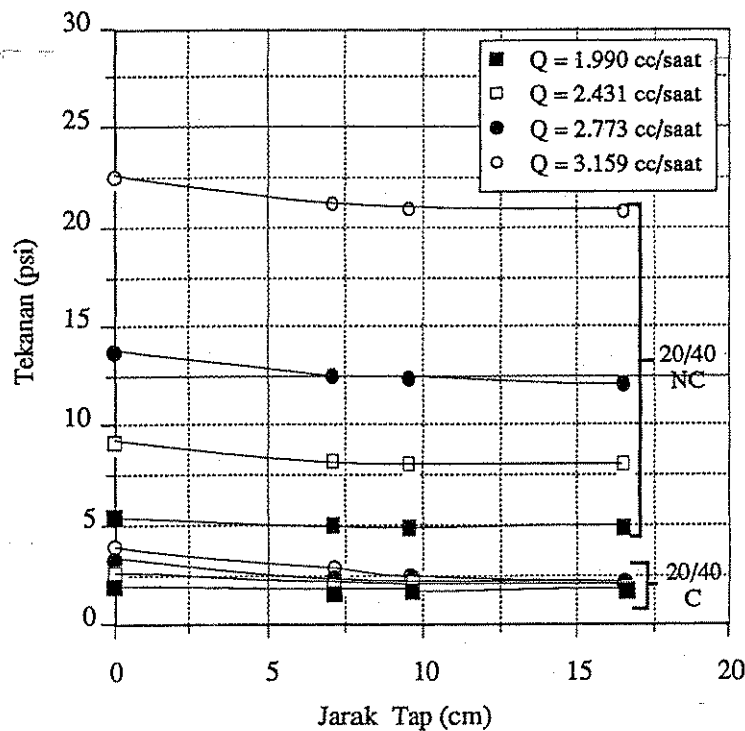
Kestabilan campuran kelikir dengan pasir formasi bergantung kepada taburan saiz partikel yang seragam. Walaubagaimanapun, keputusan ujikaji menunjukkan untuk semua sampel ujian, iaitu di antara 15% - 55% kandungan pasir formasi, kadar kerosakan adalah tinggi berbanding dengan kadar kerosakan pada peratus kandungan pasir formasi yang lebih tinggi.

15% - 55% kandungan pasir formasi mengakibatkan padatan kelikir yang tak stabil. Kestabilan padatan dengan mudah termusnah apabila halaju bendalir yang tinggi mengalir menerusi padatan. Halaju ini dikenali sebagai 'halaju genting' padatan⁽⁶⁾. Untuk peratus kandungan pasir yang lebih besar daripada 55%, padatan yang lebih stabil terbentuk, walaubagaimanapun, kebolehtelapannya adalah rendah.

Kesan Antara Muka Kelikir/Pasir Formasi Terhadap Produktiviti

Kejatuhan tekanan terhadap jarak pergerakan partikel pasir formasi ditunjukkan dalam Gambarajah 13. Kejatuhan tekanan pada titik-titik ukuran semasa kala aliran, jelas menunjukkan yang pasir formasi telah bergerak daripada satu bahagian ke bahagian yang lain di dalam kotak pasir berkenaan. Apabila jarak pergerakan partikel pasir daripada antara muka kelikir/pasir formasi meningkat, tekanan di dalam padatan kelikir menurun, dan seterusnya menjadi malar. Keadaan ini adalah disebabkan oleh pasir yang menyerbu bahagian awal padatan kelikir telah terperangkap di dalam rongga liang yang lebih kecil dari saiz partikel berkenaan, dan seterusnya menghalang partikel-partikel pasir yang lain untuk bergerak lebih jauh ke dalam lagi. Walaubagaimanapun, keadaan sedemikian tidak berlaku untuk saiz kelikir yang lebih kecil. Untuk semua sampel kelikir yang diuji, kelikir 20/40 komersial kurang menunjukkan pengurangan dalam produktiviti. Mutunya yang baik dan taburan saiznya yang seragam dapat menghalang pergerakan pasir formasi dari bergerak lebih jauh lagi ke dalam padatan.

Saiz purata pasir formasi yang digunakan adalah kira-kira 100 μm (140 US mesh). Jika rumus Saucier⁽⁷⁾ digunakan, kelikir bersaiz 20/40 US mesh akan dipilih. Keputusan-keputusan yang diperolehi jelas menunjukkan yang kelikir 20/40 komersial memberikan halangan yang baik kepada pergerakan partikel pasir berbanding dengan kelikir 20/40 bukan komersial, walaupun kedua-duanya mempunyai saiz piawai yang sama.



Gambarajah 13 : Tekanan ukuran di sepanjang jarak tap.

KESIMPULAN

Berdasarkan kepada keputusan-keputusan ujikaji yang diperolehi, kesimpulan yang dapat dibuat adalah seperti berikut.

1. Faktor fizikal yang mempengaruhi produktiviti telaga ialah
 - a) taburan saiz partikel campuran
 - b) mutu kelikir
 - c) taburan sair pasir formasi, dan
 - d) kestabilan padatan.
2. Produktiviti telaga menurun dengan peningkatan peratus pasir formasi.
3. Produktiviti telaga berkurang apabila kadar alir meningkat pada antara muka kelikir dan pasir formasi.
4. Mutu kelikir yang baik memberikan padatan yang lebih stabil.

TATANAMA

Roman

A	-	luas keratan rentas yang terdedah kepada aliran (ka^2 , cm^2)
B	-	pekali struktur padatan
C	-	kelikir komersial
C_{uc}	-	pekali/nisbah keseragaman
D_{10}	-	garis pusat butiran pada 10% berat bertokok
D_{40}	-	garis pusat butiran pada 40% berat bertokok
D_{50}	-	garis pusat butiran pada 50% berat bertokok
D_{90}	-	garis pusat butiran pada 90% berat bertokok
\bar{D}	-	saiz butiran purata
d	-	garis pusat (inci., cm)
F	-	berat (peratus)
h	-	ketebalan (ka., cm)
k	-	kebolehtelapan (darcy)
k_0	-	kebolehtelapan awal (darcy)
k	-	kebolehtelapan berkesan (darcy)
L	-	panjang (ka., cm, mm)
M_s	-	berat sampel (gm)
NC	-	kelikir bukan komersial
P	-	tekanan (psi)
PD	-	sisihan peratus phi
Q	-	kadar alir (bpd, cc/saat)
r_e	-	jejari reserbor (ka)
r_w	-	jejari lubang telaga (ka)
S	-	keluasan permukaan tentu
SFS	-	pasir formasi terselaku
t	-	masa (saat)
V	-	isipadu (cc)
V_b	-	isipadu pukal (cc)
V_{ew}	-	isipadu air lebihan (cc)
V_{pw}	-	isipadu air tuangan (cc)
ΔP	-	kejatuhan tekanan (psi)
ϕ	-	keliangan (peratus)
μ	-	kelikatan (cp)
μ_w	-	kelikatan air (cp)
ρ	-	ketumpatan (gm/cc)
ρ_s	-	ketumpatan sampel (gm/cc)
ψ	-	keseferaan kelikir (pecahan)

RUJUKAN

1. Coberly, C.J., dan Wagner, E.M., "Some Considerations In The Selection And Installation Of Gravel Pack For Oil Wells," API Technical Paper No. : 960, October, 1937.
2. Hill, K.E., "Factors Affecting The Use Of Gravel In Oil Wells," API Drilling and Production Practice , Vol. 134, May 1941, p. 134 - 143.

3. Gumpertz, B., "Screen Effect Of Gravel On Unconsolidated Sands", Trans. AIME, Vol. 142.
4. Maly, G.P., dan Krueger, R.F., "Improper Formation Sampling Leads To Improper Selection Of Gravel Size," JPT, April, 1971.
5. Williams, B.B., Elliot, L.S., dan Weaver, R.H., "Productivity Of Inside Casing Gravel Pack Completions," JPT, April 1972.
6. Schwartz, D.H., "Successful Sand Control Design For High Rate Oil And Water Wells," JPT, September, 1969, p. 1193 -1198.
7. Saucier, R.J., "Considerations In Gravel Pack Design," JPT, February, 1974, p. 205 - 212.
8. Gurley, D.C., Copeland, C.T., dan Hendrick, J.O., "Design, Plan and Execute Gravel Pack Operations For Maximum Productivity," SPE Paper No. : 5709, 1976.
9. Leone, J.A., Mana, M.L., dan Parmley, J.B., "Gravel Sizing Criteria For Sand Control And Productivity Optimization," SPE Paper No. : 20029, presented at the 60th California Regional Meeting, California, April 4 - 6, 1990, p. 165 - 176.
10. Sparlin, D.D., "What Is New In Gravel Packing ?," The Oil And Gas Journal, December 16, 1974, p. 56 - 60.
11. Oyeneyin, M.B., dan Peden, J.M., "A Review Of Gravel Sizing For Effective Sand Control," presented at the SPE Continuing Education Seminar on Sand Control, February, 1990.
12. Oyeneyin, M.B., dan Peden, J.M., "Factors To Consider In The Effective Gravel Packing Of Deviated Wells," SPE Paper No., 13916, 1985.
13. Oyeneyin, M.B., "The Effect Of Gravel Packing On Well Productivity," The Nigerian Engineer Vol. 21 No. 3., 1986, p. 1 - 11.
14. Oyeneyin, M.B., "Laboratory Investigation Of The Effectiveness of Gravel Packing Perforations And The Screen-Casing Annulus In Deviated Wells," PhD. Thesis, Department of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh, June, 1983.
15. Berg, R.R., "Method For Determining Permeability From Reservoir Rock Properties," Gulf Coast Association Of Geological Societies - Trans., Vol. XX, p. 303 - 317., 1970, p. 303 - 317.
16. API RP 58, " Recommended Practice For Testing Sand Used In Gravel Packing Operations," First Edition, March 31, 1986.
17. Penberthy, W.L., dan Cope, B.J., "Design And Productivity Of Gravel Packed Completions," JPT, October, 1980, p. 1679 -1686.